



⑩ BUNDESREPUBLIK

DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT

# Offenlegungsschrift

⑩ DE 101 22 698 A 1

⑤ Int. Cl.<sup>7</sup>:  
H 04 L 27/34  
H 04 H 3/00

- ⑪ Aktenzeichen: 101 22 698.5  
⑫ Anmeldetag: 10. 5. 2001  
⑬ Offenlegungstag: 28. 11. 2002

DE 101 22 698 A 1

⑪ Anmelder:

Siemens AG, 80333 München, DE

⑫ Erfinder:

Aretz, Kurt, Dr., 46419 Isselburg, DE; Lombardi, Giancarlo, Dr., Den Haag, NL

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

④ Verfahren zur Bestimmung von Modulationsverfahren für Unter-Träger eines OFDM-Symbols

⑤ Verfahren zur Bestimmung von Modulationsverfahren für Unter-Träger eines OFDM-Symbols, wobei die Unter-Träger in Gruppen zusammengefasst sind und das Modulationsverfahren für Unter-Träger einer Gruppe identisch ist, wobei zunächst der Signal-Rauschabstand (SNR) eines jeden Kanals bestimmt wird und aus dem mittleren Signal-Rauschabstand (Av\_SNR) der Gruppe das Modulationsverfahren für die Gruppe bestimmt wird, dadurch gekennzeichnet, dass aus dem Signal-Rauschabstand (SNR) jedes Kanals ein Gütwert (T2) für jeden einzelnen Unter-Träger bestimmt wird und entweder bei einer Zuweisung von Modulationsverfahren, bei der eine größere Zahl an Bits übertragen werden kann als durch einen Zielwert vorgegeben, solange der Unter-Träger mit dem niedrigsten Gütwert ermittelt wird und das Modulationsverfahren für diesen Unter-Träger um ein Bit erniedrigt wird, bis der Zielwert erreicht ist oder bei einer Zuweisung von Modulationsverfahren, bei der eine kleinere Zahl an Bits übertragen werden kann als durch einen Zielwert vorgegeben, solange der Unter-Träger mit dem höchsten Gütwert ermittelt wird und das Modulationsverfahren für diesen Unter-Träger um ein Bit erhöht wird, bis der Zielwert erreicht ist.

DE 101 22 698 A 1

## Beschreibung

- [0001] Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zur Bestimmung von Modulationsverfahren für Unter-Träger eines OFDM-Symbols, wobei die Unter-Träger zunächst in Gruppen zusammengefasst sind und das Modulationsverfahren für Unter-Träger einer Gruppe identisch ist, wobei zunächst der Signal-Rauschabstand eines jeden Kanals bestimmt wird und aus dem mittleren Signal-Rauschabstand der Gruppe das Modulationsverfahren für die Gruppe bestimmt wird.
- [0002] Aus der Literatur sind verschiedene Algorithmen bekannt, um Modulationsverfahren für Unter-Träger eines OFDM-Symbols zu bestimmen und zu optimieren. In der Regel werden dabei unterschiedliche Modulationsverfahren für jeden Unter-Träger abhängig vom Signalrauschen und weiteren Bedingungen gewählt. Beispielsweise erlaubt ein bekannter Algorithmus, der von Chow, Choffi sowie Bingham vorgeschlagen wurde die Berechnung der optimalen Modulationsverfahren pro einzelnen Subträger in Abhängigkeit vom aktuellen Signalrauschen oder vom Energie-per-Bit-Rauschen und von der gewünschten Kapazität und/oder Fehlerrate. Ein Nachteil des Algorithmus ist, dass er rekursiv ist, Zeitverzögerung einführt und hohen Echtzeitrechenaufwand benötigt.
- [0003] Ein einfacher und effizienter Algorithmus wurde in einem Aufsatz von R. Grünheid, E. Bolinth, H. Rohling sowie K. Aretz mit dem Titel "Adaptive Modulation for the HIPERLAN/2 Air Interface" auf den Proceedings of 5<sup>th</sup> OFDM Workshop, Hamburg-Haburg, Deutschland vom 12.-13. September 2000 vorgestellt. Während andere Algorithmen einen nicht unerheblichen Berechnungsaufwand erfordern, um die Anzahl an Bits für jeden Unter-Träger (im englischen meist als Sub-Carrier bezeichnet) zu bestimmen und dabei im Prinzip die Bestimmung von so vielen Modulationsverfahren wie Unter-Trägern erforderlich, erfordert der dort vorgestellte sogenannte Simple Bit-Loading-Algorithm (SBLA) einen geringeren Berechnungsaufwand, da hier Modulationsverfahren blockweise, das heißt jeweils bezogen auf einen Block von Unter-Trägern, bestimmt werden.
- [0004] Nachteil an dem dort vorgestellten Algorithmus ist, dass dieser keine konstante Anzahl an übertragbaren Bits für ein OFDM-Symbol bereitstellen kann.
- [0005] Der vorliegenden Erfindung liegt das Problem zugrunde, ein Verfahren anzugeben, mit dem eine konstante Anzahl von Bits über die Unter-Träger eines OFDM-Symbols übertragen werden können.
- [0006] Dieses Problem wird durch ein Verfahren nach Patentanspruch 1 gelöst. Erfindungsgemäß ist vorgesehen, dass aus dem Signal-Rauschabstand (SNR) jedes Kanals ein Gütwert ( $T_2$ ) für jeden einzelnen Unter-Träger bestimmt wird und entweder bei einer Zuweisung von Modulationsverfahren, bei der eine größere Zahl an Bits übertragen werden kann als durch einen Zielwert vorgegeben, solange der Unter-Träger mit dem niedrigsten Gütwert ermittelt wird und das Modulationsverfahren für diesen Unter-Träger um ein Bit erniedrigt wird, bis der Zielwert erreicht ist oder bei einer Zuweisung von Modulationsverfahren, bei der eine kleinere Zahl an Bits übertragen werden kann als durch einen Zielwert vorgegeben solange der Unter-Träger mit dem höchsten Gütwert ermittelt wird und das Modulationsverfahren für diesen Unter-Träger um ein Bit erhöht wird, bis der Zielwert erreicht ist. Mit diesem Verfahren ist es möglich, bei vergleichsweise geringem Aufwand eine konstante Bitübertragung zu erzielen.
- [0007] In einer Fortbildung des erfindungsgemäßen Verfahrens ist vorgesehen, dass der Gütwert als Differenz des Signal-Rauschabstandes eines jeden Kanals und dem Mittelwert über alle Unter-Träger zuzüglich eines konstanten Wertes abzüglich eines Wertes  $T$  int, der sich aus dem Modulationsverfahren ergibt, bestimmt wird. Der so definierte Gütwert ist besonders leicht zu bestimmen. Sowohl der konstante Wert als auch der Wert  $T$  int als oberer bzw. unterer SNR-Intervall-Grenzwert ergeben sich aus dem bekannten Simple-Bit-Loading-Algorithm (SBLA).
- [0008] In einer Weiterbildung des Verfahrens ist es vorgesehen, dass zur Bestimmung des Modulationsverfahrens für eine Gruppe von Unter-Trägern die Differenz aus dem mittleren Signal-Rauschabstand und dem über alle Unter-Träger gemittelten Signal-Rauschabstand zuzüglich einem konstanten Wert ermittelt wird und dieser Wert mit einem Intervall  $TM$  verglichen wird, dem die Modulationsverfahren zugeordnet sind. Die Bestimmung des Modulationsverfahrens für jede Kanalgruppe liefert bei dieser Vorgehensweise ein optimal an eine für eine sichere Übertragung akzeptable Bitfehlerrate angepasstes Modulationsverfahren.
- [0009] Der zuvor genannte konstante Wert beträgt vorzugsweise 4,5 dB. Dieser Wert wurde empirisch ermittelt, um mit möglichst wenigen Iterationen auf die Zielbitrate zu kommen.
- [0010] Im folgenden wird ein Ausführungsbeispiel der Erfindung näher beschrieben.
- [0011] Für das Ausführungsbeispiel wird angenommen, dass eine begrenzte Auswahl an Unter-Trägern aus einem größeren Frequenzband zur Verfügung steht. Mit den Unter-Trägern lässt sich ein Orthogonal Frequency Division Multiplex (OFDM) Übertragungsverfahren durchführen. Die einzelnen Unter-Träger sind in Gruppen zusammengefasst, wobei die Gruppen aus bezüglich der Frequenz benachbarten oder zumindest relativ nahe beieinanderliegenden Unter-Trägern bestehen. Durch diese Maßnahme sind die Übertragungsparameter, insbesondere der Signal-Rauschabstand (SNR), der Unter-Träger einer Gruppe ähnlich.
- [0012] Im Rahmen des hier erläuterten Ausführungsbeispiels wird im folgenden angenommen, dass insgesamt 9 Unter-Träger zur Verfügung stehen, die in 3 Gruppen (SUB-Carriergroups) zu jeweils 3 Unter-Trägern zusammengefasst sind. Für jeden einzelnen Unter-Träger wurde der Signal-Rauschabstand (SNR) gemessen. Die beiden linken Spalten in Tabelle 1 führen die angenommenen Messwerte für jeden einzelnen Unter-Träger auf. Die Messwerte sind hier willkürlich gewählt und dienen rein der Veranschaulichung des Verfahrens. In den Zeilen der Tabelle 2 sind die zu einer Gruppe (Sub-Carrier Group) gehörenden Unter-Träger aufgeführt.

# DE 101 22 698 A 1

Tabelle 1

| Sub-Carrier Group | SNR (dB) |      |                 | Av_SNR (dB) | T=Av_SNR (dB) - Tot_Av_SNR (dB) + 4,5 dB |
|-------------------|----------|------|-----------------|-------------|--|
| 1                 | 10,5     | 13   | 15,2            | 13,3        | 4,0                                      |
| 2                 | 11,6     | 10,4 | 9,3             | 10,5        | 1,3                                      |
| 3                 | 12,5     | 15,5 | 18              | 15,9        | 6,6                                      |
|                   |          |      | Tot Av SNR (dB) |             |  |
|                   |          |      | 13,8            |             |  |

[0013] Die einzelnen Messwerte finden sich in den mit der Überschrift SNR (dB) versehenen Spalten. Die Messwerte sind in Dezibel (dB) angegeben. In der daneben liegenden Spalte ist für jede Kanalgruppe der Mittelwert des Signal-Rauschabstandes (Av\_SNR(dB)) angegeben. Aus den Mittelwerten der Signal-Rauschabstände der 3 Gruppen ist wiederum ein Gesamtmittelwert über alle Unter-Träger (Tot\_Av\_SNR) errechnet. In der äußerst rechten Spalte der Tabelle 1 ist ein weiterer Wert als erstes Gütekriterium T angegeben. Das erste Gütekriterium T wird berechnet als Differenz aus dem Mittelwert der Signal-Rauschabstände über eine Kanalgruppe (Av\_SNR) und dem mittlerem Signal-Rauschabstand über alle Unter-Träger (Tot\_Av\_SNR) zuzüglich eines konstanten Wertes von  $T_{const} = 4,5$  Dezibel. Ein konstanter Wert von  $T_{const} = 4,5$  Dezibel wurde empirisch als günstig ermittelt, hier können aber auch andere Werte angenommen werden.

[0014] In dem vorliegenden Ausführungsbeispiel soll weiterhin angenommen werden, dass insgesamt 18 Bit über alle Unter-Träger zusammengekommen übertragen werden sollen. Tabelle 2 listet Intervalle des Wertes T int für verschiedene Modulationsverfahren auf, in denen diese Modulationsverfahren eine Fehlerrate in der Größenordnung von  $10^{-3}$  liefern.

Tabelle 2

| TM=Thresholds (dB) T <sub>INT</sub>        | BPSK        | QPSK        | 8-PSK       | 16-QAM      | 32-QAM      | 64-QAM |
|--|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|--------|
| 2 Bit/Sub-Carrier (9x2=18 Bit/OFDM Symbol) | [-5,0;-2,0] | [-2,0; 2,0] | [2,0; 5,35] | [5,35; 7,7] | [7,7; 10,7] | >10,7  |

[0015] Beispielsweise liefert das binäre Phase Shift Keying oder binäre Phasenmodulation (BPSK) eine Fehlerrate in der Größenordnung von  $10^{-3}$  in einem Intervall T<sub>INT</sub> von -5,0 bis -2,0. Durch Vergleich des in Tabelle 1 in der letzten Spalte für jede Kanalgruppe errechneten Wertes T mit den in Tabelle 2 aufgeführten Intervall T<sub>INT</sub> wird nun für jede Kanalgruppe ein Modulationsverfahren bestimmt. Tabelle 3 verdeutlicht diese Zuordnung für die eingangs angenommenen Signal-Rauschabstandswerte.

Tabelle 3

| Sub-Carrier Group | Bits/Group | Modulation |
|-------------------|------------|------------|
| 1                 | 9          | 8-PSK      |
| 2                 | 6          | QPSK       |
| 3                 | 12         | 16-QAM     |
| Total Bits        |            |            |
| 27                |            |            |
| Bits in excess    |            |            |
| 9                 |            |            |

[0016] Beispielsweise ergibt sich für die Kanalgruppe 1 ein Wert T von 4,0. Ein Vergleich mit Tabelle 2 zeigt, dass dieser Wert in dem Intervall T<sub>INT</sub> von 2,0 bis 5,35 liegt und damit dem Modulationsverfahren 8-PSK zugeordnet ist. Mit dem Modulationsverfahren 8-PSK lassen sich über jeden Unter-Träger 3 Bit übertragen, so dass sich über die gesamte

# DE 101 22 698 A 1

Kanalgruppe 9 Bit übertragen lassen. Ein entsprechender Vergleich des Wertes T von 1,3 für die Kanalgruppe 2 mit  $T_{INT}$  ergibt, dass hier das Modulationsverfahren QPSK anzuwenden ist. Mit diesem Modulationsverfahren lassen sich 2 Bit je Unter-Träger übertragen, für die gesamte Kanalgruppe daher 6 Bit. Entsprechend ergibt sich für die Kanalgruppe 3 das Modulationsverfahren 16-Quadratur Amplitude Modulation-(16-QAM), mit dem sich insgesamt 12 Bit über diese Kanalgruppe übertragen lassen. Insgesamt lassen sich mit der im Beispiel gewählten Kanalzuordnung daher 27 Bit übertragen.

[0017] Wie zuvor erwähnt wird angenommen, dass über das gesamte OFDM-Symbol 18 Bit übertragen werden sollen. Im vorliegenden Beispiel lassen sich mit der gewählten Kanalzuordnung 27 Bit bei einer Bitfehlerrate über alle Unter-Träger in der Größenordnung von  $10^{-3}$  übertragen, also könnte auf 9 Bit verzichtet werden. Daher werden in einem weiteren Schritt, der in einer Tabelle 4 verdeutlicht wird, die Modulationsverfahren so gewählt, dass genau die geforderte Anzahl an Bits übertragen werden kann. In dem vorliegenden Beispiel kann gemäß der Erstzuordnung der Modulationsverfahren eine größere Anzahl an Bits übertragen werden als gefordert. In diesem Fall erzielt man mit dem nachfolgend dargestellten Verfahren eine Verbesserung des Signal-Rauschabstandes bei einigen Unter-Trägern, so dass die Übertragung insgesamt sicherer wird. Die Vorgehensweise ist im Prinzip identisch falls bei der Erstzuordnung eine geringere Anzahl an Bits übertragen werden kann als gefordert. In diesem Fall sind einige Unter-Träger zu einem Modulationsverfahren zu verschieben, bei dem ein geringerer Signal-Rauschabstand für das jeweilige Modulationsverfahren erforderlich gegeben ist. Die Bitfehlerrate für die betroffenen Unter-Träger kann daher den Wert  $10^{-3}$  übersteigen.

[0018] In Tabelle 4 ist zunächst für jeden einzelnen Unter-Träger ein Wert  $T_1$  angegeben, der sich vergleichbar mit dem Wert T in Tabelle 1 aus dem Signal-Rauschabstand eines jeden Kanals abzüglich des mittleren Rauschabstandes über alle Unter-Träger zzgl.  $T_{const} = 4,5 \text{ dB}$  ergibt.

Tabelle 4

| Sub-Carrier Group | $T_1 = \text{SNR} \text{ (dB)} - \text{Tot Av SNR} \text{ (dB)} + 4,5 \text{ dB}$ |     |     |
|-------------------|---|-----|-----|
| 1                 | 1,2   | 3,7 | 5,9 |
| 2                 | 2,3   | 1,1 | 0,0 |
| 3                 | 3,2   | 6,2 | 8,7 |

[0019] In Tabelle 5 ist aus den in Tabelle 4 errechneten Werten  $T_1$  ein Wert  $T_2$  errechnet, dieser ergibt sich aus dem Wert  $T_1$  durch Abzug des unteren Grenzwertes für das jeweils zugeordnete Modulationsverfahren.

Tabelle 5

| Sub-Carrier Group | $T_2 = T_1 - T_{mod \ lower}$ |      |      |
|-------------------|-------------------------------|------|------|
| 1                 | -0,8                          | 1,7  | 3,9  |
| 2                 | 4,3                           | 3,1  | 2,0  |
| 3                 | -2,15                         | 0,85 | 3,35 |

[0020] Mit den in Tabelle 2 angegebenen unteren Grenzwerten für das jeweilige Modulationsverfahren ergibt sich z. B. für die Kanalgruppe 1 mit dem Modulationsverfahren 8-PSK der Wert  $T_2$  aus der Differenz zwischen  $T_1$  und dem Wert 2,0. Aus den so ermittelten Werten  $T_2$  für alle Unter-Träger wird der kleinste Zahlenwert herausgesucht. Im vorliegenden Fall ist dies der Wert  $T_2 = -2,15$  für den ersten Unter-Träger der dritten Kanalgruppe. Dies bedeutet, dass die dritte Kanalgruppe im vorliegenden Fall einen Unter-Träger beinhaltet, der einen sehr ungünstigen Signal-Rauschabstand hat. Daher wird für diesen Unter-Träger dieser Kanalgruppe das Modulationsverfahren um 1 Bit verkleinert, im vorliegenden Fall also statt 16-QAM das Modulationsverfahren 8-PSK. Der Wert für diesen Unter-Träger wird mit diesem Modulationsverfahren erneut berechnet, im vorliegenden Beispiel ergibt dies den Wert  $T_2 = 1,23$ . In einem weiteren Schritt werden die Unter-Träger erneut betrachtet. Im vorliegenden Zahlenbeispiel ist der nächstniedrigste Wert der Tabelle -0,8 und ist dem ersten Unter-Träger der ersten Kanalgruppe zugeordnet. Wie zuvor wird auch hier das Modulationsverfahren, das bisher gemäß Tabelle 3 QPSK ist, um 1 Bit reduziert und damit auf BPSK festgesetzt sowie ein neuer Wert  $T_2$ , hier  $T_2 = 3,2$ , berechnet. Nunmehr lassen sich über das gesamte OFDM-Symbol 25 Bit übertragen. Da eine Übertragung von 18 Bit erforderlich ist sind weiterhin 7 Bit zu viel übertragbar.

[0021] Das zuvor verdeutlichte Verfahren wird iterativ so lange durchgeführt, bis die mit dem OFDM-Symbol übertragbaren Bits dem geforderten Wert entsprechend. Im gewählten Zahlenbeispiel sind 18 Bit gefordert, nach 9 Iterations-schritten gelangt man von 27 Bit auf die geforderten 18 Bit. Tabelle 6 verdeutlicht den Iterationsvorgang.

Tabelle 6

|                   |  | Erster Iterationsschritt  |   |   |
|-------------------|--|---------------------------|---|---|
| Sub-Carrier Group |  | Bits eliminated           |   |   |
| 1                 |  | 0                         | 0 | 0 |
| 2                 |  | 0                         | 0 | 0 |
| 3                 |  | 1                         | 0 | 0 |
|                   |  | Zweiter Iterationsschritt |   |   |
| Sub-Carrier Group |  | Bits eliminated           |   |   |
| 1                 |  | 1                         | 0 | 0 |
| 2                 |  | 0                         | 0 | 0 |
| 3                 |  | 1                         | 0 | 0 |
|                   |  | Neunter Iterationsschritt |   |   |
| Sub-Carrier Group |  | Bits eliminated           |   |   |
| 1                 |  | 1                         | 1 | 1 |
| 2                 |  | 1                         | 1 | 1 |
| 3                 |  | 1                         | 1 | 1 |

[0022] Das Iterationsverfahren verläuft sinngemäß identisch, falls die Anzahl der übertragbaren Bits geringer ist als die geforderte Zahl der zu übertragenden Bit. Statt den niedrigsten Wert in der Tabelle zu suchen wird nun der höchste Wert ermittelt und das Modulationsverfahren für den Unter-Träger mit dem höchsten errechneten Wert T2 um 1 Bit erhöht. Am Beispiel der Tabelle 5 wäre daher das Modulationsverfahren für den ersten Unter-Träger der Kanalgruppe 2 zu erhöhen, da dieser mit dem Wert 4,3 den günstigsten Vergleichswert T2 für den Signal-Rauschabstand besitzt. Auch hier wird das Verfahren iterativ so lang fortgesetzt, bis die Anzahl der übertragbaren Bit mit der Anzahl der geforderten zu übertragenden Bit übereinstimmt. Zusätzlich könnte hier ein SNR-Schwellwert definiert werden um zu entscheiden, ob die Modulationsart tatsächlich eine Stufe höher gesetzt werden soll, um nicht eine zu hohe Bitfehlerrate (BER) zu erhalten.

## Patentansprüche

1. Verfahren zur Bestimmung von Modulationsverfahren für Unter-Träger eines OFDM-Symbols, wobei die Unter-Träger in Gruppen zusammengefasst sind und das Modulationsverfahren für Unter-Träger einer Gruppe identisch ist, wobei zunächst der Signal-Rauschabstand (SNR) eines jeden Kanals bestimmt wird und aus dem mittleren Signal-Rauschabstand ( $Av\_SNR$ ) der Gruppe das Modulationsverfahren für die Gruppe bestimmt wird, dadurch gekennzeichnet, dass aus dem Signal-Rauschabstand (SNR) jedes Kanals ein Gütwert (T2) für jeden einzelnen Unter-Träger bestimmt wird und entweder bei einer Zuweisung von Modulationsverfahren, bei der eine größere Zahl an Bits übertragen werden kann als durch einen Zielwert vorgegeben, solange der Unter-Träger mit dem niedrigsten Gütwert ermittelt wird und das Modulationsverfahren für diesen Unter-Träger um ein Bit erniedrigt wird, bis der Zielwert erreicht ist oder bei einer Zuweisung von Modulationsverfahren, bei der eine kleinere Zahl an Bits übertragen werden kann als durch einen Zielwert vorgegeben solange der Unter-Träger mit dem höchsten Gütwert ermittelt wird und das Modulationsverfahren für diesen Unter-Träger um ein Bit erhöht wird, bis der Zielwert erreicht ist.
2. Verfahren nach Patentanspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der Gütwert (T2) als Differenz des Signal-Rauschabstandes (SNR) eines jeden Kanals und dem Mittelwert ( $Tot\_Av\_SNR$ ) über alle Unter-Träger zuzüglich eines konstanten Wertes  $T_{const}$  abzüglich eines Wertes  $T_{INT}$ , der sich aus dem Modulationsverfahren ergibt, bestimmt wird.
3. Verfahren nach einem der Patentansprüche 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass zur Bestimmung des Modulationsverfahrens für eine Gruppe von Unter-Trägern die Differenz ( $T$ ) aus dem mittleren Signal-Rauschabstand ( $Av\_SNR$ ) und dem über alle Unter-Träger gemittelten Signal-Rauschabstand ( $Tot\_Av\_SNR$ ) zuzüglich einem konstanten Wert ermittelt wird und dieser Wert mit einem Intervall TM verglichen wird, dem die Modulationsverfahren zugeordnet sind.
4. Verfahren nach einem der Patentansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass der konstante Wert  $T_{const} = 4,5$  dB beträgt.

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

- Leerseite -